

Литвиненко М.В., Сенчишин В.Г., Федорович В.А., Крыжный Г.К.,
Зубкова Н.В., Вerezуб Н.В.

Управление качеством технологического процесса производства пластмассовых сцинтилляторов

Важнейшим условием успешного функционирования на внутреннем и внешнем производственных рынках предприятий, специализирующихся на выпуске пластмассовых сцинтилляторов является обеспечение конкурентных преимуществ (качество/цена) их продукции.

Сегодня на мировом рынке спрос на длинномерные пластмассовые сцинтилляторы в виде полос (ПС стрипов) длиной до 7 метров, со сбором света через спектросмещающее волокно (WLS-волокно) достаточно высокий при условии обеспечения стабильно высокого качества.

При организации производственного процесса ПС стрипов необходимо обеспечить тесное сотрудничество материаловедов, специалистов по механической обработке и экономике. Это связано со сложностью и определенной новизной производства длинномерных ПС стрипов. Бесспорный лидер в исследовании процессов полимеризации и механической обработки – Институт сцинтилляционных материалов НТК «Институт монокристаллов» НАН Украины, г. Харьков и НТУ «Харьковский политехнический институт» [1–4].

Анализ технологических аспектов производства отечественных ПС-стрипов показал на ряд проблем в системе организации производства оптических сцинтилляционных изделий [5, 6]. Имеют место значительные материальные и трудовые затраты на производство ПС стрипов, а прибыль от их реализации достаточно незначительна. На мировом рынке цены на ПС продукцию уже сложились и нам необходимо добиться снижения затрат на производство за счет эффективной организации производственного процесса, разработки оригинальной экономической стратегии, тотального управления качеством выпускаемой продукции.

В управление включают не только целенаправленные управляющие воздействия, но и саму постановку целей, выработку политики, принятие решений. Управление связывают с объединением различных мероприятий (контроля, руководства, менеджмента), осуществляемых на всех стадиях производства и жизненного цикла продукции.

Цель данной работы – создание эффективного технологического производства ПС стрипов путем управления основными технико-экономическими показателями.

Основываясь на опыте организации обработки ПС создана система управления качеством выпускаемой продукции, ориентированная на улучшение технических, экономических и организационных показателей производства (рис. 1).

Принципы организации высокоэффективного производства ПС стрипов

Научно-организационные	Материаловедческие	Технологические	Экономические
<ul style="list-style-type: none"> • комплексное решение задач, направленных на организацию рационального производства соэкструзионных стрипов с учетом объема и качества готовых ПС 	<ul style="list-style-type: none"> • правильный выбор для полимеризации ПС марки мономерного сырья; • получение и подготовка к экструзии блочного полистирольного сцинтиллятора; • выбор материала светоотражающего покрытия с необходимой для экструдирования вязкостью 	<ul style="list-style-type: none"> • отработка технологических режимов процесса полимеризации для получения сцинтилляционного материала с высокой прозрачностью, сцинтилляционной эффективностью и молекулярно-массовым распределением; • рациональные условия механической обработки стрипов; • контроль выходных параметров 	<ul style="list-style-type: none"> • снижение затрат на проектирование; • снижение длительности цикла производства изделий; • сокращение затрат на материал; • сокращение затрат на единицу продукции; • уменьшение величины оборотных средств (в части незавершенного производства)

Рисунок 1– Система управления качеством процессов производства ПС стрипов

В ходе организации производства при решении материаловедческих задач получены следующие результаты [6]:

- в качестве мономерного сырья выбран мономер стирола высшей очистки с содержанием основного вещества не менее 99,8 % масс. и наличием ненормированных примесей (дивинилбензол, бензальдегид, фенилацетат и т.п.) в пределах 0,0005 – 0,01 % масс.;

- получен блочный полистирольный сцинтиллятор, материал которого легко формуется в стрипы требуемых размеров и конфигурации при оптимальных режимах оборудования, а готовые ПС стрипы соответствуют по размерам, форме и свойствам условиям эксплуатации.

Технологические задачи включают комплекс вопросов по технологии получения блочной заготовки на основе полистирола, по технологии его экструдирования, по аппаратному оформлению технологических процессов. К ним относятся:

- отработка технологических режимов процесса полимеризации, которая связана: с разработкой условий подготовки сырья для экструзии стрипов; с разработкой технологических параметров экструзии при которых расплав хорошо формуется в стрипы нужной формы и размеров, а эксплуатационные характеристики готовых ПС соответствуют требуемым значениям;

- выбор режима созэкструзии для стрипов с прочным и равномерным по толщине покрытием;

- выбор условий фрезерования канавки на стрипе для спектросмещающего волокна;

- выбор типоразмера оборудования таким образом, чтобы максимально использовать его возможности, обеспечивать высокую производительность при качественном изготовлении стрипов;

- разработка технологического регламента – рекомендаций по созданию формирующего оборудования.

Как уже отмечалось научно-организационные задачи – это совокупность задач, направленных на организацию рационального производства стрипов с учетом объема и качества готовых ПС. Одна из главных задач создания серийного способа производства – повышение суточной производительности

установки. Проведенная модернизация установки позволила повысить суточную производительность в три раза (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ технических возможностей установки для получения ПС стрипов до и после ее модернизации

<i>До модернизации</i>	<i>После модернизации</i>
<ul style="list-style-type: none"> отсутствует система охлаждения скорость экструзии – 30-40 см/мин объем загрузки – 60 л суточная производительность – 35 шт 	<ul style="list-style-type: none"> установлена система охлаждения установлен насос – скорость экструзии 170-200 см/мин новый рабочий цилиндр – объем загрузки 260 л суточная производительность – 100 шт

Если рассматривать большой временной цикл (например, месяц), то наблюдается периодичность в количестве полученных стрипов (см. рис.2,а) и плато на графике роста суммарного количества продукции (рис. 2,б).

Периодичность экструзионного процесса определяется тем, что стадия подготовки к экструзии блочного полистирольного сцинтиллятора (полуфабриката) занимает четверо суток. На данном этапе именно периодичность полимеризационного процесса ограничивает месячную производительность на уровне 1500-1600 ПС стрипов.

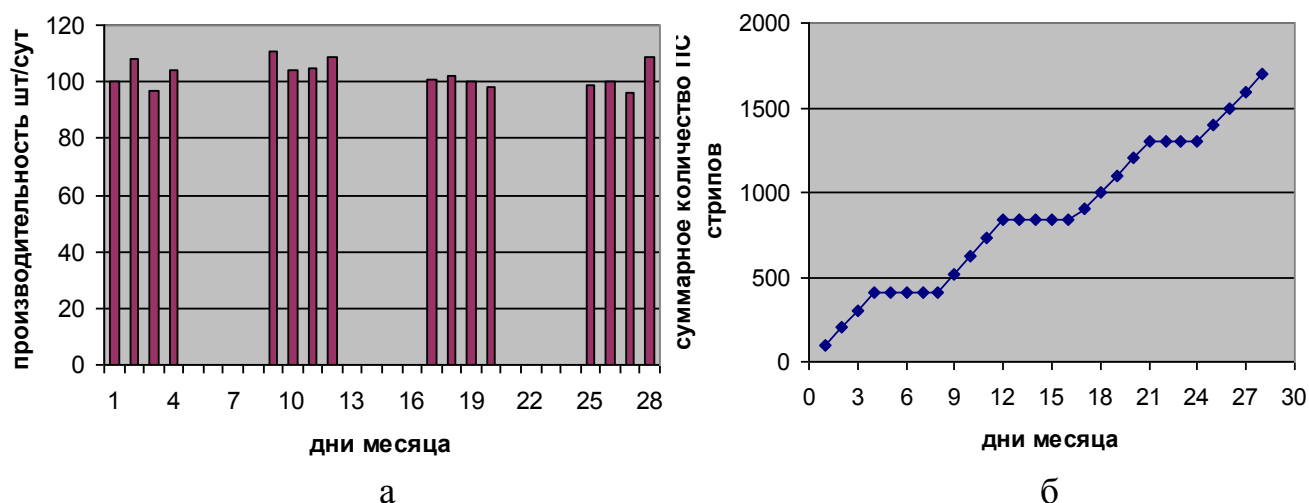


Рисунок 2 – Суточная производительность промышленной установки (а) и рост суммарного количества ПС стрипов (б) в течение месяца

Для устранения перерывов в подготовке полуфабриката на участке экструзии было рекомендовано изготовить и ввести в эксплуатацию второй

полимеризатор. Наличие второго полимеризатора позволило вести подготовку полуфабриката по очереди с первым и обеспечило постоянное его наличие. Принципиально в схеме экструзии ничего не изменилось, но были устранены простои из-за отсутствия расплава блочного сцинтиллятора. В результате производительность увеличилась почти в два раза (рис. 3).

Регистрация сигнала с сцинтиляционного стрипа осуществляется через спектросмещающее оптическое волокно, помещенное в канавку расположенную вдоль ПС-стрипа. Канавка под волоконный световод формируется на этапе механической обработки (рис. 4). Уровень регистрируемого сигнала, в определенной мере, зависит от световыхода системы «профиль-световод» и от оптического контакта изделия со световодом. Таким образом, важной научной и технологической задачей является задача формирования профиля канавки с требуемым качеством поверхности.

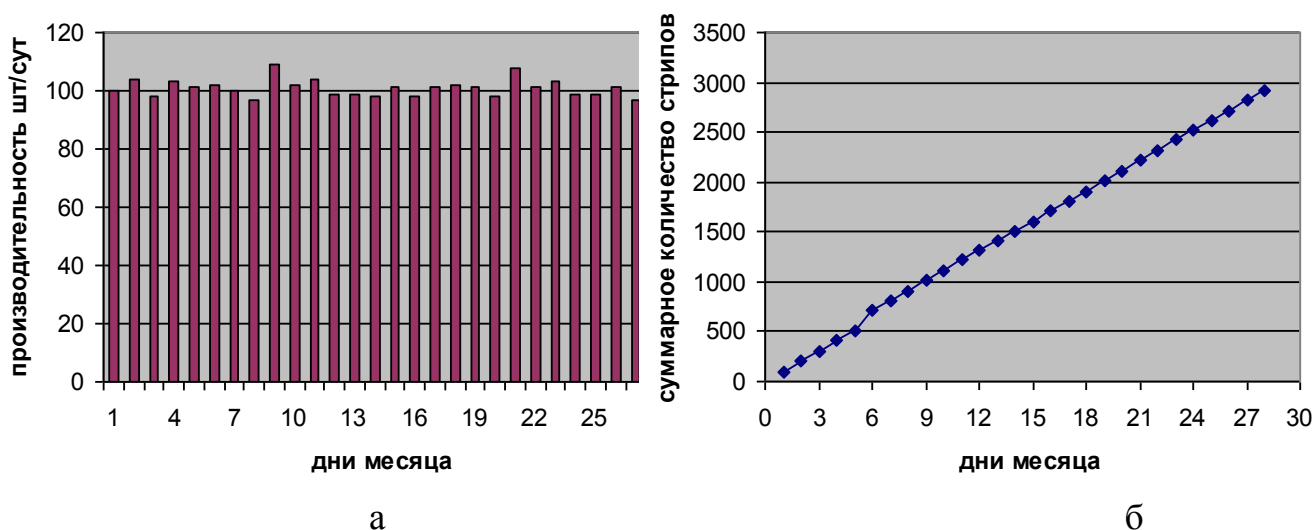


Рисунок 3 – Суточная производительность промышленной установки (а) и рост суммарного количества ПС стрипов (б) в течение месяца при работе с двумя полимеризаторами

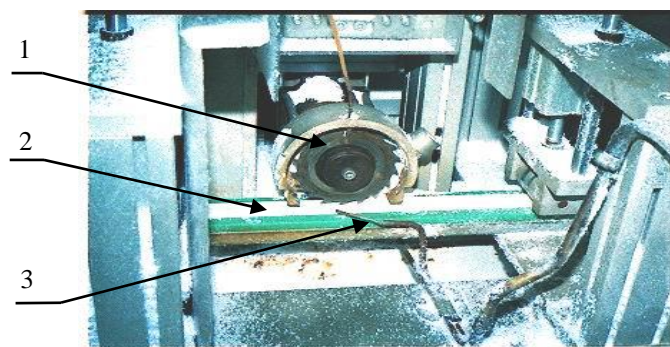


Рис. 4. Установка «Agne Maschinen – und Stantlban» для непрерывного фрезерования канавки:

1 – дисковая фреза; 2 –пластмассовый сцинтилляционный профиль;
3 – газ высокого давления

Экспериментально установлено влияние скорости экструзии на шероховатость поверхности канавки. Требуемое качество поверхности канавки (0,5...1 мкм) [3] достигается в диапазоне скоростей 1400÷1800 мм/мин, что соответствует величине подачи от 0,05 мм/зуб до 0,07 мм/зуб (рис. 5). При скоростях выше 1800 мм/мин ($S_z > 0,07$ мм/зуб) наблюдается большое количество растрескиваний и выкрашиваний на поверхности канавки, а при более низких скоростях ($S_z < 0,05$ мм/зуб) происходит оплавление материала поверхности. И в том и в другом случае шероховатость поверхности по параметру Ra превышает 1 мкм.

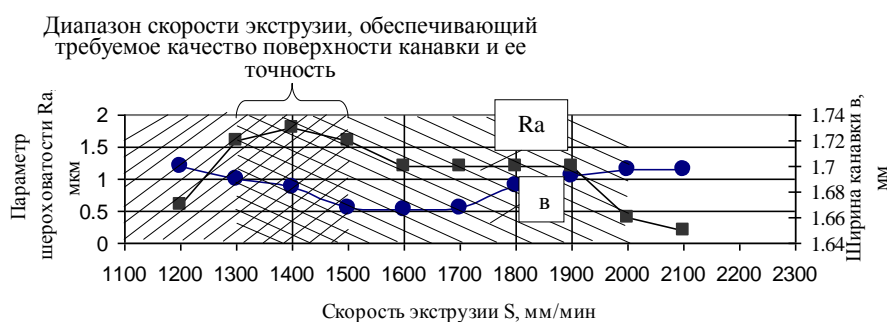


Рис. 5. Влияние скорости экструзии на качество и точность обработки канавки

Влияние скорости экструзии на точность обработки канавки имеет иной характер (рис. 5). Требуемая точность обработки обеспечивается на скорости экструзии 1100 ÷ 1200 мм/мин, однако, производительность процесса при этом низкая. Дальнейший рост скорости экструзии (1200 ÷ 1600 мм/мин) приводит к

тому, что размер ширины канавки выходят за допуск на обработку, и, лишь со скорости 1600 мм/мин размер ширины находится в допуске.

Из рисунка 5 видно, что обработка канавки в диапазоне скорости экструзии $1600 \div 1700$ мм/мин позволяет получить требуемое качество поверхности канавки, а также обеспечивает заданную точность ее геометрических параметров.

Разработана и внедрена система производственного контроля качества, позволяющая выявить бракованные ПС стрипы на ранней стадии производственного цикла их изготовления (рис. 6).

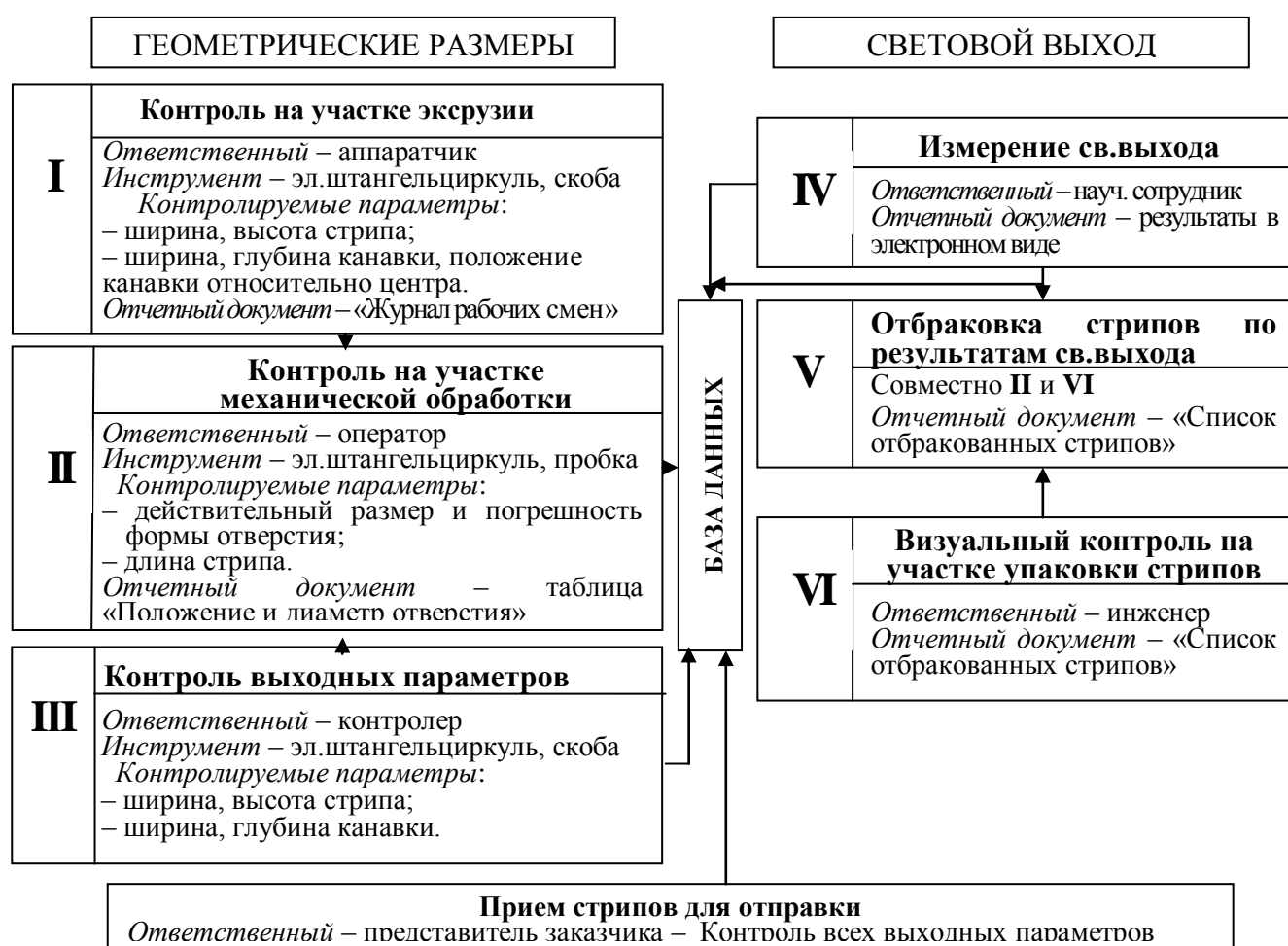


Рисунок 6 – Система производственного контроля качества ПС стрипов

Модернизация установки, получение блочного полистирольного сцинтиллятора, устранение простоев и внедрение системы производственного контроля качества производства отечественных ПС-стрипов позволили реализовать некоторые из основных факторов снижения себестоимости:

– относительное снижение себестоимости за счет экономии материальных затрат ($\% \Delta C_M$) в результате изменения расхода сырья (снижение брака) в пересчете на единицу продукции:

$$\% \Delta C_M = (1 - I_M * I_{\pi}) * \alpha_{M.3} * 100 = (1 - 0,845) * 0,6 * 100 = 9,3\%,$$

где I_M – индекс норм затрат материальных ресурсов на один ПС-стрип;

I_{π} – индекс цен на единицу материального ресурса;

$\alpha_{M.3}$ – доля материальных затрат в себестоимости ПС-стрипа.

– относительное снижение себестоимости ($\% \Delta C_{п.п}$) за счет роста производительности труда:

$$\% \Delta C_{п.п} = \alpha_{з.п} * (1 - (I_{з.п} / I_{п.п})) * 100\% = 0,22 * (1 - 0,3) * 100 = 15,4\%,$$

где $I_{з.п}$ – индекс роста заработной платы;

$I_{п.п}$ – индекс роста продуктивности труда;

$\alpha_{з.п}$ – доля заработной платы в себестоимости ПС-стрипа.

В результате, системного подхода по управлению качеством изделий успешно решены следующие технико-экономические задачи:

– увеличен объем выпуска изделий за счет сокращения простоев оборудования, потерь рабочего времени и длительности производственного цикла;

– снижены затраты на материал за счет сокращения брака, своевременного контроля и корректировки производственного процесса;

– уменьшена величина оборотных средств (в части незавершенного производства) за счет их ускоренной оборачиваемости в результате сокращения длительности цикла производства.

Все перечисленное выше позволит добиться сокращения затрат на единицу продукции (на ПС стрип) и увеличить прибыль, что имеет особую важность и значимость для существующей производственной ситуации.

Таким образом в результате комплексного решения материаловедческих, технологических и научно-организационных задач разработана и внедрена в эксплуатацию технология изготовления ПС стрипов, базирующаяся на управлении качеством выпускаемой продукции. Это обеспечило увеличение производительности создания изделий в шесть раз (160 стрипов в сутки), снижение процента брака до 1,5% и производственной себестоимости продукции на 25%.

Список литературы:

1. Гринев Б.В., Сенчишин В.Г. Пластмассовые сцинтилляторы. – Х.: Акта, 2003. С. 157-164.
2. Заявка на патент №20041216828 от 27.12.04 «Спосіб одержання світловідбиваючого покриття на поверхні виробів з полімерних сцинтиляційних матеріалів».
3. V. Senchyshyn, B.Gryunov, S. Melnychuk, A.Adadurov, N.Khlapova, M.Dracos, A.Olchevski, Y.Gornushkin, A.Nozdryn, A.Sadovski. Low Cost Extruded Plastic Scintillating Strips for Opera Experiment. Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 2005. Abstracts Books.
4. Н.В. Вепезуб, М.В. Литвиненко, С.В. Мельничук, В.Э. Леман, С.С. Миненко. Особенности фрезерования канавки под световод на полистирольных сцинтилляционных профилях // Весник НТУ «ХПИ». – Харьков. – 2005. – №23, – С. 45-53.
5. Литвиненко М.В. Повышение функциональных и эксплуатационных характеристик оптических полистирольных изделий полученных фрезерованием. Дис. ... к-та техн. наук. – Харьков, 2004. 183 с.
6. Гринев Б.В., Сенчишин В.Г., Мельничук С.В., Литвиненко М.В., Лагутин В.Н., Ольшеский А.Г., Ноздрин А.А., Горнушкин Ю.А., М. Dracos. Высокоэффективная технология серийного изготовления длинномерных пластмассовых сцинтилляторов. // Пластические массы, Россия. – Москва, 2006. – №11. – С. 47-51.7.

Статья посвящена проблеме организации высокоэффективного производства пластмассовых сцинтилляционных профилей, предназначенных для комплектации радиометрической аппаратуры для исследований физики высоких энергий. В результате комплексного решения научно-организационных, материаловедческих, технологических и экономических задач, имеющих место при производстве отечественных пластмассовых сцинтилляторов, решены две первоочередные: увеличена производительность и снижена производственная себестоимость.

Die Publikation ist dem Problem der Organisation von hocheffektiver Produktion der szintillatorischen Profile aus dem Kunststoff gewidmet, die für Komplettierung der radiometrischen Anlagen in der Physik von Hohenenergien benutzt werden. Als Ergebnis der Entscheidungen von komplexen wissenschaftlichen, organisatorischen, materialbezüglichen, technologischen und wirtschaftlichen Aufgaben sind zwei wichtigste – die gestiegen Produktivität in der Produktion und senkende Selbstkosten.

Стаття присвячена проблемі організації вискоефективного виробництва пластмасових сцинтиляційних профілів, призначених для комплектації радіометричної апаратури для досліджень фізики високих енергій. У результаті комплексного вирішення науково-організаційних, технологічних та економічних завдань, що мають місце при виробництві вітчизняних пластмасових сцинтиляторів, вирішені дві першочергові: збільшена продуктивність і знижена виробнича собівартість.